

Title	量子を自在に操る制御理論が量子コンピュータを実現に導く： 数理工学と量子力学を融合させた新分野を開拓
Sub Title	
Author	平塚, 裕子(Hiratsuka, Yūko)
Publisher	慶應義塾大学工学部
Publication year	
Jtitle	新版 窮理図解 No.29 (2019. 1) ,p.2- 3
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	研究紹介
Genre	Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001002-00000029-0002

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

量子を自在に操る制御理論が 量子コンピュータを実現に導く

数理工学と量子力学を融合させた新分野を開拓

量子とは原子や分子、電子、素粒子などの非常に小さな物質や、小さなエネルギー単位のこと。1メートルの10億分の1を下回るような極小の世界で、量子は私たちの身の回りの現象とは違う不思議な振る舞いをする。その性質を利用した超高速コンピュータが、今まさに実用化されようとしている。そこには量子をいかに捉え、どう制御するのかという難しい課題があった。山本さんは20年前からこの課題に挑戦し研究してきた理論家の1人だ。

量子コンピュータの黎明期に 制御理論と情報理論の 数理工学でアプローチ

量子コンピュータのアイデアは30年以上前からあったものの、観測することさえ難しい量子を利用して、実際に計算機を作ることは簡単なことではなかった。1998年、当時カリフォルニア工科大学の研究者だった古澤明さんが、遠く離れた場所へ一瞬で情報を伝える“量子テレポーテーション実験”に成功した頃から、「量子コンピュータを本当に作るぞ、という機運が高まったのです」と山本さん。

このニュースをきっかけに、山本さんは量子力学の分野に踏み出していく。とはいっても、それまで量子力学を専門的に勉強したことはなかった。当時、山本さんは東京大学の計数工学科の学生で、

応用数学系科目を幅広く学んでいた。とくに、甘利俊一博士の著書『情報幾何の方法』にたいへん影響を受けた。卒業研究では人工知能のツールであるニューラルネットを、修士課程では制御理論と情報幾何を研究している。

「甘利先生は統計、制御、最適化などの数理工学を“幾何”という観点からまとめあげました。『情報幾何の方法』ではニューロンや脳科学なども取り上げられていて、すでに量子情報の章もありました」。さまざまな方法論を共通する数学で把握しようとするこの本の精神は、そのまま山本さんの研究スタイルとなり、今に至るまで一貫している。

山本さんは、これまでやってきた制御理論や最適化理論などの数理工学と量子力学を結びつけた新分野を切り開くとい

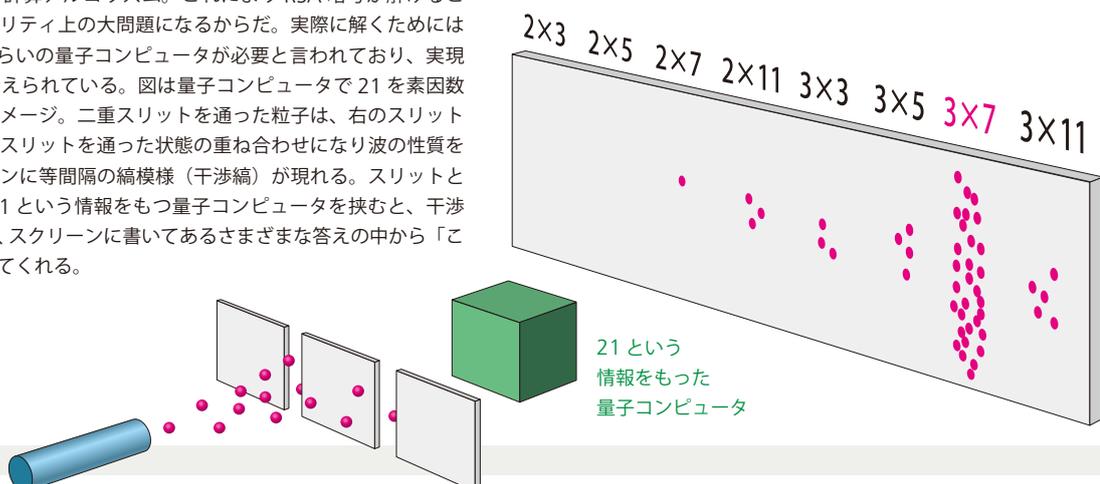
う野望を抱き、自分なりの新しい視点を取り入れて論文を書いた。学位取得後は「量子の制御」に的を絞り、制御工学におけるフィードバック理論(ものの状態を見て操作を加えること)の量子版を手掛けようと、当時この分野で先行していたカリフォルニア工科大学でポスドクとして研究を始める。

量子の世界をガラッと変えた この20年

「制御」とは、ある状態に操作を加えて、別の状態に変えることだが、そのためには対象の状態を見て、把握しなければならない。ロボットにコップを持たせる場合、ロボットがコップの位置や大きさを把握できなければうまく持てないだろう。通常のコンピュータでは、ビットが1か0かをまず把握する。ところが量子コンピュータの場合、把握すべきものは1か0かではなく、1と0を重ね合わせた状態(量子ビット)になる。量子力学によればこの状態を見る(観測する)ことはできない。見たとたんに重ね合わせは解消されて、1か0になってしまう

図1 量子コンピュータの仕組み

量子コンピュータ開発のブレイクの一因は、1994年にショアが発見した素因数分解の量子計算アルゴリズム。これによりRSA暗号が解けることになれば、セキュリティ上の大問題になるからだ。実際に解くためには1000量子ビットぐらいの量子コンピュータが必要と言われており、実現は遠い将来の話と考えられている。図は量子コンピュータで21を素因数分解する仕組みのイメージ。二重スリットを通った粒子は、右のスリットを通った状態と左のスリットを通った状態の重ね合わせになり波の性質を示すので、スクリーンに等間隔の縞模様(干渉縞)が現れる。スリットとスクリーンの間に21という情報をもつ量子コンピュータを挟むと、干渉縞の濃淡に差が出て、スクリーンに書いてあるさまざまな答えの中から「この辺だよ」と教えてくれる。



からだ。

「見る」という行為は、たとえば「もの」に光を当てて、その反射光を計測することでなされるが、量子の大きさになると、光を当てることによりその状態は変化してしまう。つまり状態を変えずに見ることはできないのである。それが量子力学の常識だった。

「見てはいけないものを制御する(笑)。そういう深い問いが隠れているんですね」と山本さん。有名な“シュレーディンガーの猫”の比喻では、猫は寝ている状態と起きている状態の重ね合わせ状態にあり、普通の光を当てる方法でこの猫を見ることはできない。猫に気づかれずに見る方法はないか、研究者たちは頭を悩ませた。しかしついに、この問題を解決するための、特殊な弱い光を生成する方法が開発されたのだという。シュレーディンガーの猫が見えるようになったのだ。この後、さらに、この猫の状態を自由自在にフィードバック制御する方法もわかった。

これらを含む量子制御に関する一連の研究は「量子システムの計測と操作を可能にした実験手法の開発」として2012年のノーベル物理学賞の対象になり、仏高等教育機関コレージュ・ド・フランスのセルジュ・アロシュと米国立標準技術研究所のデビッド・ワインランドの2氏に贈られている。

このように量子システムを観測する技術が1990年代後半ごろから開発され始め、徐々にそれらをフィードバックでうまく動かせるような体系ができあがってきた。山本さんがカリフォルニア工科大学に移った当時、この分野の数学はまったく確立されていなかったが、いくつかの幸運が重なって、世界に先駆けてこの理論を習得することができた。その後、オーストラリア国立大学研究員を経て現在に至っている。

山本さんの論文は、カリフォルニア大学バークレー校の実験チームによって検証されるなど評価されており、「理論家としては非常にうれしいこと」とほほ笑む。「重ね合わせを自由自在に制御するための理論が発展を遂げ、ノーベル賞で認められたりもして、量子の世界が

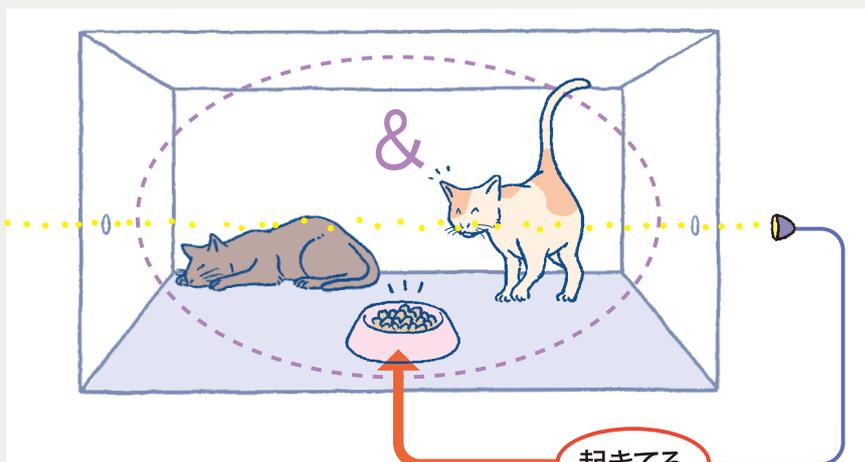


図2 シュレーディンガーの猫の制御法 (Haroche=アロシュの実験の比喻)

- ① 箱の中では「光がある状態」(起きている猫)と「光がない状態」(寝ている猫)が重なり合っている。
- ② 目標は「必ず光がある状態」をつくること。
- ③ 原子を(光の状態を壊さないように弱く)当てる。
- ④ 箱から出てくる原子は、光の状態を教えてくれる。
- ⑤ もし「光がない」という情報が得られたら光を増やす(寝ている猫に餌をあげて起こす)。

ガラッと変わってきた20年でした」と山本さん。今は量子制御理論を応用して、集積化が限界にきている電子回路のフィードバック制御の量子化にも取り組む。次世代コンピュータに必須の技術として期待され、科学技術振興機構(JST)のプロジェクトとして進行している。

世界でヒートアップする量子コンピュータ研究

量子コンピュータ開発は今、実用化を目指し熱い視線が注がれている。「世界の巨大企業が、量子コンピュータ開発に巨額の資金を投入しています。また、アメリカでは関連したスタートアップ企業やベンチャー企業がどんどん増えており、日本も負けてはいられません」と山本さん。ハードの開発に加え、今は機械学習への応用などを志向するアルゴリズムが盛んに研究されている。

慶應義塾大学では、量子コンピューティングセンターを立ち上げて2018年

5月に「IBM Q Network Hub(※1)」を開設、20量子ビット(※2)の実量子コンピュータを用いた量子アルゴリズム研究に着手した。将来のビジネス化を念頭に企業と連携したプログラムで、山本さんはセンター長として研究の先頭に立つ。

具体的には、迅速な株価評価を行うための高速モンテカルロ積分法や、少ないデータで効率よく人工知能を鍛える量子機械学習の研究を実施している。「私が学部や修士のときに研究していた分野につながっています。ラッキーですね。他にも色々な数理工学の問題にアタックしています。今まで取り組んできた制御や最適化の話も組み合わせ、量子コンピュータの数理工学を展開していきたいと思います」と山本さん。

日々発展する量子コンピュータの世界で、オリジナルの数理工学基盤を打ち立てることができるか、山本さんの挑戦は続く。

(取材・構成 平塚裕子)

※1 「IBM Q Network Hub」

IBM Corporationがビジネスやサイエンスで応用可能な汎用量子コンピューティングシステムを構築するため、2017年に立ち上げたシステム。米国オークリッジ国立研究所、英国オックスフォード大学、オーストラリアメルボルン大学などがハブとなっており、日本では慶應義塾大学が担う。なお、5量子ビットの量子コンピュータはクラウドベースで自由に使うことができ、次のサイトからアクセスできる。

IBM Q Experience

<https://www.ibm.com/developerworks/jp/cloud/library/cl-quantum-computing/index.html>

※2 「20量子ビット」

1量子ビットは1と0の2つの状態を同時計算できるので、20量子ビットの量子コンピュータは2の20乗、すなわち約100万状態を同時計算できる。量子ビット数が増えると、計算速度は指数的に増大する。